干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

新时期新疆水库大坝建设的主要问题与对策建议

李 江[1]， 柳 莹[1]， 刘生云[1,2]， 彭兆轩[1]， 吴 涛[1]
（1 新疆水利水电规划设计管理局，新疆 乌鲁木齐 830000；2 黄河勘测规划设计有限公司，河南 郑州 450003）

摘 要：截止2018年，全疆（含兵团）已建、在建及拟建水库722座（包括电站水库），总库容295.0×10^8 m^3。有力地改善了水资源调控和利用效率，在灌溉、供水、防洪、发电、旅游等方面发挥了极其重要的作用。新时期按照水利部“水利工程补短板、水利行业强监管”的工作总基调，针对南北疆水资源配置不平衡问题、水资源利用不充分问题，谋划提出了兴建数十座大中型山区水库，以及提升已建水库大坝信息化管理水平、加强水库调度运行管理，在满足生态需水的前提下统筹生活、生产供水，最大程度发挥水库效益、确保水库安全运行。针对新时期气候变化条件下水库洪水风险分析、大坝建设需要重点关注的几项关键技术、山区水库替代平原水库、河流健康与生态调度、水库清淤与能力提升、水库信息化与智能调度以及延长服役期等问题进行了探讨，提出若干对策建议。

关 键 词：水库；大坝；气候变化；关键技术；问题；对策建议
文章编号：

截止2018年，全新疆地方及兵团已建、在建和拟建水库722座（包括电站水库），虽然不到全国98 000座的1%，但在寒旱区以农业和牧业为主的新疆，这些水库的效益和作用却是巨大的，保障了620×10^4 hm^2农田灌溉、2 400多万人防洪、供水安全，以及570多条主要河流及数十个尾闾湖泊的生态供水。新疆水库大坝建设整体上与国内建设保持同步，甚至有些技术先在新疆取得突破，再逐步扩展到全国[1]。如连获数奖的乌鲁瓦提面板砂砾石坝（坝高131.8 m），9度设防的吉林台面板砂砾石坝（坝高157.0 m），国内最冷地方修建的RCC混凝土坝（坝高121.5 m）[2]；在建的大石峡面板砂砾石坝[3]（坝高247.0 m）居世界同类坝型最高；山口拱坝（坝高94.0 m）升鱼机是国内第一个高坝过鱼设施[4]。多个水库工程的关键技术进展为提升国内筑坝水平提供了重要技术支撑[5]。

新时期应对气候变化对水资源的不利影响、河流健康与生态保护问题、南北疆发展不平衡问题等，都对山区水库大坝的建设提出了迫切要求，尤其是南疆环塔里木盆地的重要河流。研究洪水风险与应对措施、大坝建设的若干关键技术、山区水库替代平原水库、河流健康与生态调度、水库清淤与能力提升、水库信息化与智能调度以及延长大坝服役期等问题尤为必要。

1 水库大坝建设概况

截止2018年，全疆（含兵团）已建在建及拟建水库722座，总库容接近295.0×10^8 m^3，其中平原水库478座，库容66.9×10^8 m^3，数量及库容分别占66.2%、22.7%；山区水库244座，库容227.5×10^8 m^3，数量及库容分别占33.8%、77.3%。已建大中小型水库分别为34座、148座和472座，库容分别为141.5×10^8 m^3、50.5×10^8 m^3和12.4×10^8 m^3。大中型水库共182座，总库容占93.9%，其中34座大型水库的总库容占到69.3%。由此可见，发挥巨大调蓄能力的主要还是大型山区水库。

收稿日期：2020-07-20； **修订日期**：2020-08-09
基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金（2017D01A67）；新疆维吾尔自治区天山雪松创新领军人才计划（2018XS22）；天山英才工程第二期（2016-2018）
作者简介：李江（1971-），男，教授级高级工程师，硕士研究生，主要从事水利水电工程规划设计. E-mail: lj635501@126.com

2 水资源特点与利用基本情况

2.1 水资源特点和趋势

新疆水资源主要呈现以下几个特点:(1) 人均水资源量是全国平均值的两倍,居全国第4位,但单位面积产水量 5×10^4 $m^3\cdot km^{-2}$,仅为全国平均的1/6;(2) 河川径流量年际变化较小,但区域差异和季节变化较大,表现为西多东少、北多南少和春旱、夏洪、秋缺、冬枯;(3) 全疆约48.0%的地区为沙漠、戈壁,干旱少雨,生态环境极为脆弱,存在水资源短缺、土地退化、人工绿洲与天然绿洲争水矛盾突出等问题;(4) 近十几年来受"暖湿型"气候变化影响,新疆降水增多、来水偏丰,增幅11.3%。如果遇到枯水年(特别是连续枯水年),降水和来水大幅减少,将对以地表水灌溉为主的农业生产产生巨大影响,甚至还可能给经济社会安全及生态环境保护带来巨大风险[6]。

2.2 水资源配置格局与供用水情况

新中国成立70年来,除巩乃斯河、托什干河、玉龙喀什河外,全疆主要河流均有已建、在建的山区控制性水库,河流径流调节能力显著提升(表1)。陆续建成 3.33×10^3 ~2.0×10^4 hm^2重点中型灌区218个,2.0×10^4 hm^2以上大型灌区48个。初步形成了北疆环准噶尔盆地、保障天山北坡经济带供水,南疆环塔里木盆地、保障天山南坡产业带供水,山区水库与重大引水相结合的全疆水资源配置格局[7-9]。

伴随最严格水资源管理制度的落实,新疆总用水量由2012年 590.1×10^8 m^3下降至2018年 548.8×10^8 m^3,用水量累计减少 41.4×10^8 m^3。农业用水比重也从2012年的95.7%减少到2018年的89.4%,用水结构逐步得到改善。

3 水库大坝建设存在的主要问题

3.1 洪水风险问题

新疆河流洪水成因复杂,洪水类型主要有:季节性融雪洪水、高山冰雪融水洪水、高山冰雪和暴雨混合型洪水以及冰川湖溃坝洪水,各河的年最大洪峰流量均由多种类型的洪水组成。山区洪水主要为春汛与夏洪,大多数中小河流均呈现"春旱、夏洪、秋缺、冬枯"的水文特性。需要注意的是,新疆夏季高温天气极易诱发冰雪消融性洪水,造成洪水灾害[10]。

新疆年最大洪峰流量年内分布及出现频次变化不大,但气候变化和变异,既能引起流域降雨和

表1 新疆水资源利用及水库分布特点

Tab. 1 Characteristics of water resource utilization and reservoir distribution in Xinjiang

地区	主要河流数量/条	已建水库河流数量/条	已建、在建山区水库数量/坐	总库容/10^8 m^3	地表水资源总量/10^8 m^3	2017年供用水量/10^8 m^3	灌溉面积/10^4 hm^2	水资源开发调节能力(η)
全疆总计	1 841	239	240	223.978	790.05	551.11	605.21	0.18
乌鲁木齐市	50	10	8	0.840	10.43	11.26	7.55	0.05
克拉玛依市	8	–	1	0.330	0.05	5.34	5.87	–
石河子市	–	–	–	–	0.06	5.33	8.08	–
昌吉州	75	41	42	6.136	29.25	41.28	71.86	0.12
博州	33	8	9	4.677	23.63	15.42	21.40	0.12
伊犁州	74	18	17	53.884	155.51	50.06	47.90	0.23
塔城地区	104	46	30	4.547	49.08	38.54	92.84	0.06
阿勒泰地区	122	31	50	60.027	100.70	33.77	34.31	0.39
哈密市	57	22	25	0.735	10.50	10.46	12.17	0.04
吐鲁番市	50	10	8	1.562	6.10	12.91	12.84	0.14
巴州	640	10	12	6.065	112.32	48.11	51.54	0.04
阿克苏地区	147	9	7	21.399	70.01	107.72	99.49	0.20
克州	108	7	9	18.240	58.80	11.26	10.80	0.20
喀什地区	56	8	7	33.423	72.44	115.01	95.69	0.31
和田地区	317	19	15	12.113	91.16	44.64	32.90	0.09

注:开发调节能力系数=山区水库总库容/水资源量,本次统计未采用径流调节系数来分析。2017年供用水量及灌溉面积来自水资源公报。博州,博尔塔拉蒙古自治州;巴州,巴音郭楞蒙古自治州;克州,克孜勒苏柯尔克孜自治州。

径流的变化，也将加大极端异常水文气象事件发生的频次和强度，引发超标洪水。新疆山区已建小型水库的洪水标准多为500～1 000 a一遇，遭遇超标洪水时水库调节能力较弱，极易产生溃坝事件。从近年来阿勒泰青河、昌吉州阜康、哈密射月沟等地遭遇超标准洪水情况分析，可能最大洪水已接近5 000 a一遇，甚至更高。气候变化条件下土石坝水库遭遇超标洪水的风险问题极为突出。

3.2　泥沙淤积问题

新疆中小河流较多，水流含沙量普遍较高，特别是天山南坡和东昆仑北坡一带，河流输沙模数高达1 000~4 000 t·km^{-2}。水库蓄水抬高水位后，水流挟沙能力降低，大量泥沙在库区逐渐沉淀淤积。大部分中小型水库由于建设年代较早，对泥沙淤积问题认识不够，大坝一般未设置排沙底孔，同时为应对水资源短缺，含沙量较高的洪水也常被拦蓄库内，造成水库库区泥沙大量淤积（表2）。

水库泥沙淤积严重不仅严重影响兴利调度，而且给防洪带来巨大压力。1992年以来，克孜尔水库年出入库沙量比值仅为14.5%，大量泥沙淤积在库内[11]。截至2017年，库容损失率达到52.7%，严重影响水库效益发挥。

3.3　河流健康与生态保护问题

目前新疆已有23条重要河流核定出控制断面的生态流量，但由于资料获取和技术手段的局限性，部分河流已核定的生态流量控制目标存在既难以反映河湖在较长历史时期中的适宜状态，又难以反映水域生态环境保护实际需求问题[12]。未来在自治区有关水安全保障规划编制工作中，亟需深入开展河湖生态需水及控制断面生态流量核定工作。

水库大坝工程的影响主要有大坝阻隔及河流水文情势变化对河道鱼类资源的影响，对水温、水环境和生态环境的影响，特别是对河谷（岸）林草、动物、尾闾湖泊、湿地等的影响尤为突出[13]。

目前开展生态需水及调度的河流主要集中在大江大河，中小河流还存在明显的短板，尤其是天山北坡经济带内大多数河流引水比都过高，亟需进行水资源配置的优化与调整[14]。

近年来修建的山区水库，大部分都采取设置增殖站[15]、升鱼机[4]、集运鱼船、鱼类栖息地保护等一种或多种措施来保护土著鱼类，取得较好效果。而早期山区水库大部分都缺少过鱼设施，需要结合保护需求进行相应调整。

3.4　水库调度与信息化问题

山区高坝大库功能多样，水库高水位发电、低水位排沙、汛前留足防洪库容、早期灌溉用水充足、夏季有足够的库水面保障旅游等与水库效益发挥关系密切。实现水资源合理配置调控、维护河流健康生命、协调灌溉与发电用水矛盾等综合利用目标，存在诸多需要协调的问题[9]。

早期修建的中小型水库的雨量站、水位站只能获取信息，水库只能被动的从管理角度来判断如何启动应急预案，遇超标洪水无法避免溃坝。从信息化的角度出发，应考虑上游降雨与洪水监测联动机制，通过多种手段获知雨量、水情，及时采取必要措施防范洪水，避免出现人为事故。当前从水利工程“补短板、强监管”的角度出发，中小型水库提高信息化能力是一项重要任务，尤其是流域内多座水库联动、联调。实现水库智能化调度是当前的发展趋势和研究重点。

3.5　水库除险加固问题

20世纪80年代前新疆建设水库180座，大多数是平原水库，至今已服役40 a以上。随着服役期的延长，水库坝体内外性态的变化（淤积量增加、调蓄能力减弱），坝体材料的内在和外在变化（防渗土料过饱和、混凝土碳化等），均会导致大坝安全度下降，服役寿命缩短。及时开展这些水库大坝风险评估工作，探究所面临的各类风险、影响因素和程度，采取有效防范措施降低风险事故的发生概率和影响程度，对保障工程安全和工程效益发挥具有重要

表2　新疆典型水库淤积情况

Tab. 2　Sedimentation of typical reservoirs in Xinjiang

地州	水库	淤积时段	原总库容/10^8 m^3	淤积后总库容/10^8 m^3	淤积库容/10^8 m^3	淤积库容所占比例/%		
						总库容	死库容	兴利库容
博州	五一水库	2002—2015年	0.196 0	0.081 8	0.114 2	58.2	–	–
昌吉州	头屯河水库	1981—2006年	0.203 0	0.138 8	0.064 2	32.0	–	–
阿克苏地区	克孜尔水库	1991—2013年	6.400 0	4.890 0	2.510 0	39.0	88.0	29.0

意义[16]。

20世纪开展的大规模除险加固工程解决了大部分水库的运行安全问题,但主要还停留在一般性的坝基防渗、加固坝体、更新金属结构设施等层面,对于长期运行后的坝体耐久性,尚缺少深层次的研究。部分工程运行若干年后又发现新的问题,需再次进行除险加固[17]。2018年的调查发现部分山区水库均存在类似问题需要深入研究确定。

4 新时期水库大坝建设对策建议

4.1 重视大坝关键技术研究

4.1.1 土石坝填筑标准 通过对新疆已建的15座百米级工程原型观测资料统计分析,发现坝高对砂砾石坝和堆石坝施工期、竣工后的沉降变形有重要影响。随着坝高的增加,坝体的应力水平越高,其沉降变形量也越大;特别是施工期,坝体沉降变形量增幅较大。高坝填筑过程中通常采用提高坝料压实密度的办法来降低坝体的沉降变形,阿尔塔什工程通过将堆石料填筑的最大干密度由2.26 g·cm^{-3}提高到2.38 g·cm^{-3},有效减小了坝体沉降变形[18]。为控制大坝沉降变形在允许范围内,就要保证设计提出的填筑标准更高(表3),以确保大坝竣工后能够安全稳定运行。

4.1.2 混凝土坝智能温控 KLSK重力坝(坝高121.5 m)、山口拱坝(坝高94.0 m)、石门子碾压混凝土薄拱坝(坝高109.0 m)等混凝土坝在建设中为提高保温防裂及耐久性,经室内外试验研究采用了XPS保温板、聚氨酯泡沫等新型保温材料,取得较好的保温、保湿效果[19]。目前这些坝运行良好,但坝面保温问题始终没有彻底解决,不同程度存在表面保温层老化、冰拔作用下容易剥落等问题,研发适应高水头变幅、大温差变形的坝面保温材料成为一个亟待解决的难题。

表3 不同坝高下大坝填筑标准参考值

Tab. 3 Reference values of dam filling standards for different dams

材料类型	控制参数	坝高/m		
		<100	100~200	>200
砂砾料	相对密度	0.80~0.85	0.85~0.90	>0.90
爆破料	孔隙率/%	20.0~25.0	15.0~20.0	<18.0

当前,国内学者提出的智能温控技术[20]已在丰满、黄登等工程成功实践,除智能拌合环节外,混凝土坝全过程智能温控已贯穿仓控、通水和保温环节。但是要彻底解决“无坝不裂”的问题仍是一个世界级难题,今后仍然需要继续探索实践。

4.1.3 坝基与坝肩防渗 坝基与坝肩防渗是大坝的生命线之一,其工程量、投资、处理难度不亚于填筑一座大坝。在建大石门水利枢纽[21]古河槽灌浆处理深度达150.0 m、长570.0 m,投资接近大坝的1/4。百米级以上高坝坝基防渗出现问题处理难度更大,而且一旦蓄水后出现问题难以彻底修复。面板堆石坝需要放空进行处理,而沥青坝因大多数未设置坝基廊道只能从坝顶进行二次灌浆,代价极大。

4.1.4 筑坝智能化技术 相比于传统的土石坝填筑施工质量控制技术,智能压实控制技术具有数据采集、实时处理和过程控制的综合功能,可以大幅度提升大坝施工整体质量管理水平。土石坝填筑时,通过智能压实控制系统进行碾压,可以达到控制铺料厚度、碾压遍数、压实度和均匀性等施工参数和实现对碾压施工全过程控制的目的,大大提高施工效率。阿尔塔什大坝施工期建立了包括数字化碾压质量监控系统、坝料加水监控系统、大坝施工单元评定系统、安全监测系统在内的智能化监控系统,取得非常好的效果[22]。这些技术为在建的大石峡、玉龙喀什等250.0 m级面板堆石坝建设提供了有益的借鉴。

4.1.5 高边坡库岸稳定 水库高边坡未处理或处理不当都可能引发地质灾害,需花费很大代价进行处理[23],以确保工程安全运行。东疆某水库建成运行后,坝址上游左岸边坡临库面不断有小规模崩塌发生,采用基于合成孔径雷达InSAR的左岸边坡变形体监测成果,研究了左岸变形体的变形机理和可能失稳的模式、左岸变形体滑动失稳的方量及可能产生的涌浪高度及危害。结果表明,水库在不处理的情况下只能降低至死水位运行,否则库岸坍塌将会造成极大灾害。

4.2 应对洪水风险对策研究

受气候变化和地形特征影响,新疆多发暴雨洪水、融雪洪水[10]以及冰湖或堰塞湖溃决洪水等,给社会经济发展和社会稳定带来了极大威胁。实践表明提高水库大坝防洪能力的主要工程措施可归纳为3种:(1)加大泄洪能力,通过增加溢洪道、泄洪洞等措施来解决泄洪能力不足问题,但存在泄洪标准无法提高较多、缺乏合适的布置条件等很多难

题。(2) 增加调蓄库容，通过增加坝高来获取一定的调蓄库容；对于库容已经接近上限的水库，增加坝高还存在突破规范限制的问题；(3) 上述两个措施同时考虑。

针对新疆洪水类型多、风险大、预测预警难等特点，需要深入研究主要类型洪水灾害特征及其发生机理，构建山洪灾害预测预警模型[24]，建立水库溃坝洪水模拟与风险评估技术，为防洪决策和风险管理提供科学支撑，这也是当下水库工程急需补上的明显短板。对于新建的大中型水库需要深入研究洪水类型，结合水库"蓄排放"要求，合理制定调度运行措施。流域内多库并存的需要建立模型进行联合调度运行方式研究。

4.3　山区水库替代平原水库对策研究

相较于山区水库，平原水库坝高较低，施工简单，故而早期多选择平原水库作为流域治理开发的首批工程。平原水库不仅调蓄能力较弱，而且早期受资金、管理水平等制约，普遍存在安全程度低、渗漏与蒸发量大、水库周边土壤次生盐渍化严重等问题。为有效利用水资源，修建山区水库替代平原水库，增大水库调蓄能力，对于保障供水、下游生态安全是十分必要的。

修建山区水库替代平原水库不仅可行而且效益巨大。下坂地水库建成废弃16座平原水库后，通过与保留的24座平原水库联合调节，同原有40座平原水库相比，在50%、75%年份分别增加水资源总量 4.33×10^8 m^3、3.54×10^8 m^3[25]。玛纳斯河流域山区肯斯瓦特水库建成废弃部分下游平原水库后，不仅有利于灌区种植业经济发展与水库群的联合调度，还有利于下游河道生态植被的恢复与灌区生态安全的良性维持[26]。

当前按照相关规划，南疆陆续开工建设阿尔塔什、大石峡、玉龙喀什等多个大型水利枢纽，替代灌区老旧的平原水库不仅是节水优先和用水总量控制的需要，也是实现塔里木流域生态保护目标可持续的需要。

4.4　基于水库调节的流域生态调度对策研究

从近几年水生态治理与保护方面分析，多数重点流域的生态环境亟待加强系统研究与治理。除塔里木河外，其他河流系统性治理工作尚未开展。全疆水资源呈现过度开发状态，生态用水不足与地下水超采问题依然突出，湖泊面积已由20世纪50年代的9 700.0 km^2减至2000年的4 784.0 km^2。急需对生态用水保障和调度、绿洲草原沙化治理及局部水环境污染等问题进行统筹研究，并落实治理方案。

塔里木河通过近20 a的系统治理[27]、额尔齐斯河通过水库联调的生态调度[28]，使下游河谷天然林草植被得到保护和初步恢复，流域生态状况显著改善，而这一切都与源流区兴建的山区控制性水库密切相关。建议对主要河流(奎屯河、玛纳斯河、喀什噶尔河等)认真梳理"生活、生产、生态"用水现状，全面研究引水比过大河流存在的突出问题，结合山区控制性水库的调度，将流域需要的生命之水退还生态，真正实现人水和谐。

4.5　开展水库淤积调查及清淤研究

新疆境内淤积严重的水库多建于20世纪50~80年代。减少入库泥沙、排沙冲沙出库和机械清淤是我国常用的泥沙防治方法[29]。经济高效的绕库排沙技术、蓄清排浑、异重流排沙[30]都值得进行深入探索，建议以克孜尔水库为代表，深入分析源头减少入库、库内异重流排沙、增设绕库排沙通道的措施，同时对南疆多泥沙河流水库进行梳理摸排，调查水库泥沙淤积现状，解析水库泥沙淤积时空变化特征，预测典型水库泥沙淤积趋势，研究优化水库调度并提出泥沙淤积防控措施，避免"建一个淤一个"。

因新疆大部分地区的土地极易受到风力侵蚀，故而水库清淤的泥沙需妥善处理，避免对生态环境造成影响。目前国内对水库淤积物处理及资源化利用主要采用脱水固化法，其处理工艺效率较低、成本高，且容易造成次生环境污染。探索研究效果显著、成本低廉、资源化利用率较高的水库清淤方法和途径亟待开展。

4.6　水库信息化与智能化调度研究

随着治水兴水进入一个新阶段，"智慧水利"已成为水利信息化发展的新目标、新要求。"智慧水利"以水利信息系统为基础，通过进一步集成、应用信息新技术，提升水利业务能力，推动水利改革和水利现代化进程。张建云院士指出：能力提升是智慧水利的目的[31]。要着重提升流域的监测能力、预测预报能力、调度决策能力和运行管理能力，实现水资源科学管理、高效利用和有效保护。

当前新疆水库大坝仅实现了单一流域、水库的

自身信息搜集等，距离以省、地、市为单元的管理调度差距较大。应用智慧水库一体化管理平台，通过集成水库自动化监测、运行维护和行政管理等主要业务，实现用一套软件管理水库及水库群所有业务的目的。当下应结合新疆水利一中心、一张图、一朵云、一张网的统一规划，做好顶层设计，实现水库智能调度和水库信息化与现代化。

5 结 论

（1）新疆水资源时空分布不均，南北疆差异较大，水资源利用率低是新疆水利的明显短板，在确保流域“生产、生活、生态”用水协调的前提下，兴建山区控制性水库大坝是实现水资源高效利用的主要措施之一。

（2）气候变化条件下，维持河流健康的水库大坝建设与生态保护，应重点关注洪水风险与管控问题、泥沙淤积与排沙问题、生态环境保护与治理问题、信息化与智能化调度问题等。

（3）全疆部分水库已超期服役，建议开展综合性的全面检测，密切关注坝体性态、坝基渗漏，核实淤积库容，研究制定加固、退役等措施。早期建设的部分土石坝已服役50～60 a，虽然除险加固后还能继续发挥效益，但其深层坝基变形与坝内材料变化尚有待考验，应高度关注大坝寿命及退役期。

（4）已建水库大坝取得的成就为新建大坝提供了有力技术支撑，但新时期面临气候变化、强监管的要求，结合“三高一深一多一少”的筑坝环境，新建水库大坝面临的挑战越来越多，应高度关注高寒、强震环境下土石坝填筑、混凝土智能温控与保温、坝基与坝肩防渗、高边坡处理等技术问题，确保大坝建设运行安全可靠。

参考文献（References）

[1] 邓铭江, 于海鸣. 新疆坝工建设[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011. [DENG Mingjiang, YU Haiming. Dam construction progress in Xinjiang [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2011.]

[2] 邓铭江. 严寒地区碾压混凝土筑坝技术及工程实践[J]. 水力发电学报, 2016, (9): 111-120. [DENG Mingjiang. RCC dam building technology for extreme cold regions and engineering practices [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2016, (9): 111-120.]

[3] 苗喆. 世界第一高混凝土面板坝——新疆大石峡水利枢纽工程正式开工建设[J]. 水力发电, 2018, (2): 36. [MIAO Ji. The world's tallest concrete face dam: Xinjiang Dashixia water conservancy project officially started construction[J]. Water Power, 2018, (2): 36.]

[4] 李江, 柳莹, 黄涛. 新疆中型水库坝型与枢纽布置的关键技术应用实践[J]. 水利水电技术, 2018, 49(12): 87-96. [LI Jiang, LIU Ying, HUANG Tao. Key technology application practice of dam type and hub arrangement of Xinjiang medium-sized reservoir[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(12): 87-96.]

[5] 邓铭江, 于海鸣. 新疆坝工技术进展[J]. 岩土工程学报, 2010, 11: 1678-1687. [DENG Mingjiang, YU Haiming. Dam construction progress in Xinjiang[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 11: 1678-1687.]

[6] 新疆水利厅. 新疆维吾尔自治区水中长期供求规划[R]. 2016. [Xinjiang Water Conservancy. Long-term water supply and demand planning in Xinjiang Uygur Autonomous Region[R]. 2016.]

[7] 邓铭江, 李湘权, 龙爱华, 等. 支撑新疆经济社会跨越式发展的水资源供需结构调控分析[J]. 干旱区地理, 2011, 34(3): 379-390. [DENG Mingjiang, LI Xiangquan, LONG Aihua, et al. Regulation of supply and demand structure of the water resources and support economic and social leap-forward development of protection measures[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(3): 379-390.]

[8] 邓铭江. 新疆十大水生态环境保护目标及其对策探析[J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 865-874. [DENG Mingjiang. Top ten ecological environment protection targets and its solutions in Xinjiang, China[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(5): 865-874.]

[9] 邓铭江. 南疆未来发展的思考——塔里木河流域水问题与水战略研究[J], 干旱区地理, 2016, 39(1): 1-11. [DENG Mingjiang. Prospecting development of south Xinjiang: Water strategy and problem of Tarim River Basin[J]. Arid Land Geography, 2016, 39 (1): 1-11.]

[10] 商莉, 黄玉英, 毛炜峄. 2015年夏季南疆地区高温冰雪洪水特征[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 480-487. [SHANG Li, HUANG Yuying, MAO Weiyi. Features of the snow and ice meltwater flood caused by high temperature in the Southern Xinjiang Region during the summer of 2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 8(2): 480-487.]

[11] 刘思海, 侍克斌, 张宏科. 克孜尔水库泥沙淤积分析及排沙对策探讨[J]. 人民黄河, 2018, 40(7): 18-21. [LIU Sihai, SHI Kebin, ZHANG Hongke. Analysis of sediment deposition and the countermeasures for sediment deposition in Kezier Reservoir[J]. Yellow River, 2018, 40(7): 18-21.]

[12] 李淑珍. 新疆山区水库工程生态基流在水资源平衡分析中定位探讨[J]. 水利技术监督, 2018, (5): 93-97. [LI Shuzhen. Discussion on positioning of ecological baseflow of Xinjiang mountain reservoir project in water resources balance analysis[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2018, (5): 93-97.]

[13] 李江, 李淑珍, 柳莹, 等. 新疆水库大坝建设的生态环境保护技术体系与实践[C] // 水库大坝高质量建设与绿色发展——中国大坝工程学会2018学术年会论文集. 中国大坝工程学会, 2018:

11. [LI Jiang, LI Shuzhen, LIU Yin, et al. Ecological environment protection technology system and practice of dam construction in Xinjiang[C]//Reservoir dam high quality construction and green development: Proceedings of the 2018 Annual Conference of the Chinese Society of Dam Engineering. 2018: 11.]

[14] 杨荣金, 孟伟, 段宁, 等. 天山北坡经济带生态文明建设战略研究[J]. 中国工程科学, 2017, 19(4): 40-47. [YANG Rongjing, MEN Wei, DUAN Ning, et al. Ecological civilization construction strategies in the Tianshan Mountain northern slope economic belt [J]. Engineering Science, 2017, 19(4): 40-47.]

[15] 罗纬邦. 分层取水技术在KLSK水利枢纽建设中的应用[J]. 水利水电技术, 2013, 44(6): 126-129, 138. [LUO Weibang. Application of layered water-taking technology to construction of KLSK water control project[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013, 44(6): 126-129, 138.]

[16] 杨国华, 李江, 王荣鲁, 等. 塔河流域在役大中型水库风险评估研究[J]. 水利规划与设计, 2020, (1): 64-68. [YANG Guohua, LI Jiang, WANG Ronglu, et al. Study on risk assessment of large and medium reservoirs in service in Tarim River Basin[J]. Water Resources Planning and Design, 2020, (1): 64-68.]

[17] 武清, 李江, 黄涛. 气候变化下山溪性河流水库防洪减灾措施[J]. 水利水电技术, 2019, 50(12): 98-105. [WU Qing, LI Jiang, HUANG Tao. Flood prevention and mitigation measures for mountain river reservoirs under climate change[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(12): 98-105.]

[18] 包永侠, 唐德胜. 阿尔塔什大坝天然砂砾石料填筑施工参数的选择[J]. 水力发电, 2018, 44(2): 37-39. [BAO Yongxia, TANG Desheng. Parameters selection for natural sand and gravel filling material construction in Aertashi Dam[J]. Water Power, 2019, 50 (12): 98-105.]

[19] 杜彬. 聚氨酯硬质泡沫在大坝工程中的应用研究[J]. 水利水电科技进展, 2002, (4): 14-16. [DU Bin. Application of polyurethane rigid foam to dam projects[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2002, (4): 14-16.]

[20] 张国新, 刘毅, 刘有志, 等. 高混凝土坝温控防裂研究进展[J]. 水利学报, 2018, 49(9): 1068-1078. [ZHANG Guoxin, LIU Yi, LIU Youzhi, et al. Reviews on temperature control and crack prevention of high concrete dam[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(9): 1068-1078.]

[21] 亚森•纳斯尔, 童耀. 古河槽超深砂砾石层帷幕灌浆试验研究[J]. 水利建设与管理, 2019, 39(10): 26-30. [NASR Yasen, TONG Yao. Study on curtain grouting test of ultra-deep sand and gravel layer in ancient river channel[J]. Water Resources Development & Management, 2019, 39(10): 26-30.]

[22] 王建帮, 李振谦, 唐德胜. 数字智能化监控系统在阿尔塔什大坝工程质量管理中的应用[J]. 水利建设与管理, 2019, 39(8): 1-4, 13. [WANG Jianbang, LI Zhenqian, TANG Desheng. Application of digital intelligent monitoring system in quality management of Altash dam project[J]. Water Resources Development & Management, 2019, 39(8): 1-4, 13.]

[23] 杨军, 任志农. 乌鲁瓦提水利枢纽工程高边坡加固处理施工技术[J]. 水利水电技术, 2003, (12): 51-53. [YANG Jun, REN Zhinong. Anchoraging technique of high side slope in Wuluwati Hydroproject[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2003, (12): 51-53.]

[24] 刘永强, 刘志辉. 新疆融雪洪水预警决策支持系统研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, (2): 110-113. [LIU Yongqiang, LIU Zhihui. Development about decision support system for snowmelt flood prediction of Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, (2): 110-113.]

[25] 彭穗萍. 下坂地水库替代部分平原水库可行性分析论证[J]. 西北水力发电, 2002, 18(2): 8-11. [PEN Huiping. Feasibility analysis and reasoning of Xiabandi Reservoir substituting some of plain reservoirs[J]. Journal of Northwest Hydroelectric Power, 2002, 18(2): 8-11.]

[26] 张少博, 何新林, 刘兵, 等. 新疆山区水库参与调度后平原水库废弃可行性分析[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(1): 23-28. [ZHANG Shaofu, HE Xinlin, LIU Bing, et al. Feasibility of abandoning plain reservoirs after the operation of mountain reservoirs in Xinjiang[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2018, 35(1): 23-28.]

[27] 李丽君, 张小清, 陈长清, 等. 近20 a塔里木河下游输水对生态环境的影响[J]. 干旱区地理, 2018, 41(2): 238-247. [LI Lijun, ZHANG Xiaoqing, CHEN Changqing, et al. Ecological effects of water conveyance on the lower reaches of Tarim River in recent twenty years[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(2): 238-247.]

[28] 邓铭江, 黄强, 张岩, 等. 额尔齐斯河水库群多尺度耦合的生态调度研究[J]. 水利学报, 2017, 48(12): 1387-1398. [DENG Mingjiang, HUANG Qiang, ZHANG Yan, et al. Study on ecological scheduling of multiscale coupling of reservoir group[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48(12): 1387-1398.]

[29] 曹慧群, 李青云, 黄茁, 等. 我国水库淤积防治方法及效果综述[J]. 水力发电学报, 2013, 32(6): 183-189. [CAO Huiqun, LI Qingyun, HUANG Zhuo, et al. Overview on control measures and their effects against reservoir sedimentation in China[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(6): 183-189.]

[30] 曹文洪, 刘春晶. 水库淤积控制与功能恢复研究进展与展望[J]. 水利学报, 2018, 49(9): 1079-1086. [CAO Wenhong, LIU Chunjing. Advance and prospect in research on reservoir sediment control and functional restoration[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(9): 1079-1086.]

[31] 张建云, 刘九夫, 金君良. 关于智慧水利的认识与思考[J]. 水利水运工程学报, 2019, (6): 1-7. [ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, JIN Junliang. Understanding and thinking about smart water conservancy[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019, (6): 1-7.]

Main problems and countermeasures of reservoir dam construction in Xinjiang in the new period

LI Jiang[1], LIU Ying[1], LIU Sheng-yun[1,2], PENG Zhao-xuan[1], WU Tao[1]

(1 *Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Planning and Design Administration Bureau, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China;* 2 *Yellow River Survey, Planning and Design Co., LTD., Zhengzhou* 450003, *Henan, China*)

Abstract: By 2018, 722 reservoirs (including power station reservoirs) will be built, with some of which had been built and are still partly under construction in Xinjiang (including Xingjing Production and Construction Corps), China giving a total storage capacity of nearly 295×10^{8} m^{3}. These reservoirs have effectively enhanced the efficiency of regulating and utilizing water resources and played an extremely crucial role in irrigation, water supply, flood control, power generation, tourism, etc. In line with the working principle given by the Ministry of Water Resources, “compensating the shortcomings of water conservancy projects and enhancing the supervision of water conservancy industry”, plans to address the problem of the imbalanced and insufficient utilization in water resources are proposed. These include building dozens of large and medium-sized mountain reservoirs, improving the information digitization management of dams, providing drinking water and industrial water against the background of satisfying ecological water, maximizing the benefits, and ensuring the safe operations of reservoir. This paper presents the work in terms of the flood risk analysis under climate changes, several key technologies used for dam construction, the replacement of plain reservoirs with mountain reservoirs, the concerns about river health and ecological regulation, reservoir dredging and its capacity enhancement, the digitization and intelligent dispatch of reservoirs, and extending the operating time of reservoirs.

Key words: reservoir; dam; climate change; key technology; issue; suggestions